



TITLE:

廃棄物系バイオマス利用による温室効果ガス削減効果の現在と将来の比較解析--低炭素社会の代替物変化による影響 (京都大学環境衛生工学研究会 第31回シンポジウム講演論文集)

AUTHOR(S):

矢野, 順也; 平井, 康宏; 酒井, 伸一

CITATION:

矢野, 順也 ...[et al]. 廃棄物系バイオマス利用による温室効果ガス削減効果の現在と将来の比較解析--低炭素社会の代替物変化による影響 (京都大学環境衛生工学研究会 第31回シンポジウム講演論文集). 環境衛生工学研究 2009, 23(3): 212-219

ISSUE DATE:

2009-07

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/153312>

RIGHT:

京都大学環境衛生工学研究会

36

廃棄物系バイオマス利用による温室効果ガス削減効果の現在と将来の比較解析

-低炭素社会の代替物変化による影響-

京都大学 矢野順也 平井康宏 酒井伸一
(株) アーシン 出口晋吾

Comparison of Current and Future Greenhouse Gas Reduction by Waste Biomass Utilization
- Impact of Technological Changes in Substitutes in Low Carbon Society -

Kyoto Univ. Junya YANO, Yasuhiro HIRAI, Shin-ichi SAKAI
Urban System Integration Inc. Shingo DEGUCHI

1. はじめに

2050 日本低炭素社会シナリオ¹⁾や Cool Earth エネルギー革新技術計画²⁾など、国内では低炭素社会実現に向けて中・長期的な温室効果ガス (以下、GHG) の排出量削減に対する検討が近年行われている。特に都市部で廃棄物系バイオマスとして存在する厨芥類、紙類、廃木材等はエネルギー利用可能な資源であるとともに GHG 削減効果も期待できる。国外では林地残材等をコージェネレーション利用しているスウェーデンのエンチェピング³⁾など、都市部のバイオマス利用の成功事例もいくつか報告されている。さらに、EU ではバイオ燃料環境持続可能性基準案の中で温室効果ガスの削減率や排出量を廃棄物由来バイオ燃料も含めて原料・生産方法毎に公表⁴⁾している。廃棄物系バイオマス利用の評価が政策に反映されるレベルに至っており、廃棄物系バイオマスの利用技術について環境影響を評価することが社会的にも重要である。バイオマスの利用技術はバイオガス化による発電利用やエタノール発酵のような液体燃料利用など多様なものが研究・開発がされており、バイオマス利用技術の GHG 削減効果を評価した研究も多い。例えば、BTL (Biomass-to-Liquid) に関する LCA 研究として Baitz⁵⁾らは、ドイツの Choren 社の FT 燃料生産 (Choren プロセス) による廃木材の FT 燃料化により、軽油代替効果として 60-90% の GHG 排出削減が可能であることを報告している。各種の利用技術を定量的に比較することで、望ましい利用技術についての検討が可能となる。

また、バイオマス利用により得られる製品やエネルギーは既存の枯渇性資源を代替するものとしてこれまで評価されてきたものの、低炭素社会が実現した将来においては省エネルギー・高効率な新規技術が社会に導入・普及しているものと考えられる。したがって、バイオマス利用の代替物も将来的に変化するものと考えられ、そうした新規技術を代替する場合の GHG 削減効果の評価を行うことで、将来的にもバイオマス利用が有効であるかどうかを検討することは重要である。

以上から、本研究ではバイオマスの利用技術の温室効果ガス削減効果を定量的に試算することを目的として、将来の代替物変化を考慮したライフサイクル解析を実施した。本報告では廃木材を対象とした解析について報告する。

表 1 廃木材の性状

2. 研究内容

2.1. 対象バイオマスと機能単位

対象バイオマスは廃木材とし、機能単位は「1 t-wet の処理」とした。解析は 2005 年度の京都市の利用可能量 60,255 t-wet を用い試算した上で、1 t-wet 当たり換算した。廃木材の性状は表 1 に示した通り、低位発熱量 (LHV) は 11,348 MJ/t-wet、含水率は 25% である。

システム境界は「バイオマスの収集から変換および回収物 (製品・エ

LHV	MJ/t-wet	11,348
三成分	水分	25.0
	可燃分	74.0
	灰分	1.0
元素組成	C	37.6
	H	4.9
	N	0.0
	O	31.4
	燃焼性S	0.023
	揮発性Cl	0.083
	P	0.019
	セルロース	31.1
その他	ヘミセルロース	21.1
	リグニン	21.8

エネルギー) 利用、残渣処分まで」とした。必要な化石資源については「採掘、調達から使用(燃焼)まで」とした。

2.2. 対象シナリオ

表2 対象シナリオ

No	シナリオ	備考
1	直接焼却S	
2	ペレット化S	熱利用
3	熱分解ガス化 +GE発電S	
4	熱分解ガス化 +FT合成S	電力自立型
5	EtOH発酵S	

オフガスを GE 発電利用することで、ガス化+液体燃料合成の消費電力を賄う自立型液体燃料合成システムとした。

2.3. 評価項目

環境影響領域として地球温暖化を評価し、CO₂、CH₄、N₂O の排出量を GWP100 値により CO₂ 換算した。消費電力由来の CO₂ 排出は購入電力分のみを計上し、施設内で発電し供給可能な場合は未計上とした。また、廃木材由来の CO₂ はカーボンニュートラルとして未計上である。

表3に単位プロセスと GHG 排出の対応表を示した。化石燃料の燃焼による CO₂ 排出原単位は環境省の公表値^⑥を用いた。購入電力については2004年度の全電源平均値 0.425 kg-CO₂/kWh^⑦を用いた。

表3 単位プロセスと GHG 排出の対応

プロセス	サブプロセス	電力	GHG 排出量 化石燃料	その他
収集、搬出			軽油	
熱分解ガス化	熱分解ガス化・GE 発電	消費一発電		熱回収(代替)
	FT 合成		FT 軽油(代替)	
EtOH 発酵		消費一発電		熱回収(代替)、焼却時 CH ₄ ・N ₂ O
焼却発電		消費一発電		熱回収(代替)、焼却時 CH ₄ ・N ₂ O
ペレット化		消費		
埋立		消費	軽油	発生 CH ₄ ・N ₂ O
代替	電力	系統電力(削減)		
	灯油		灯油(削減)	
	液体燃料		軽油・ガソリン(削減)	

2.4. 現状及び将来の時間軸設定

現状としては2008年時点を想定し、各バイオマス利用技術について近年の国内外の技術開発動向を整理し、実用化、実証または基礎研究におけるパラメータを用いてモデル化を行った。なお、FT 合成や EtOH 発酵など実証または基礎研究段階の技術については各研究を比較し、性能数値が低めのパラメータを用いた。

将来社会においては現在よりも高効率な省エネルギー、新エネルギー技術の普及が見込まれる。例えば、環境省では2050年に国内 GHG 排出量 70%削減を目指したシナリオ検討が行われており^①、エネルギー需要の 40%削減とエネルギー供給の低炭素化により達成可能とされている。また、経済産業省では2050年までに世界全体の CO₂ 排出量を 50%削減するための革新的技術の開発ロードマップが策定^②されている。さらに、長期エネルギー需給見通し^③では、2030年度に2005年度比でエネルギー起源 CO₂ を 13%削減に寄与する2020年~2030年頃のエネルギー需給構造や新技術の普及イメージが整理されている。こうした報告を踏まえ、本研究では2030年頃を想定して、新規技術による新たな代替物を選択することとした。

2.5. 現状および将来の代替物

各シナリオで得られる製品またはエネルギーは表 4 に示した既存の製品・エネルギーを代替するとして、代替される製品等の原料採掘から製造・消費で排出される環境影響をマイナス計上した。

2030 年頃を想定した将来の代替物については、バイオマスの利用方法となる発電、熱利用、液体燃料利用の各シナリオの代替物として以下の新規技術に着目した。

- ・ 系統電力の低炭素化
- ・ ヒートポンプ (以下、HP : Heat Pump)
- ・ 電気自動車 (BEV : Battery Electric Vehicle)

表 4 現状及び将来の代替物

該当プロセス	製品	代替物 (現状)	代替物 (将来)
焼却+	電力	電力会社の系統電力 (全電源平均)	低炭素化が進んだ系統電力 (全電源平均)
蒸気発電、GE 発電	熱	灯油ボイラにより供給される熱	等熱量を供給する HP の消費電力 (全電源平均)
ペレット化	ペレット (熱利用)	灯油ボイラにより供給される熱	等熱量を供給する HP の消費電力 (全電源平均)
FT 合成	FT 軽油	同距離走行時の軽油 (ディーゼル車燃料)	同距離走行時の電気自動車の消費電力 (全電源平均)
EtOH 発酵	Bio-EtOH	同距離走行時のガソリン (ガソリン車燃料)	同距離走行時の電気自動車の消費電力 (全電源平均)

系統電力の低炭素化について、経済産業省の革新技術計画²⁾では発電効率 55%以上の高効率火力発電の導入を目指している。また、資源エネルギー庁は再生可能エネルギーと原子力を合わせたゼロエミッション電源の構成比を 2020 年までに 50%以上とするための対策を検討している⁹⁾。本研究では現状よりも系統電力の低炭素化が進むことを想定し、2004 年度の排出原単位 (全電源平均) 0.425 kg-CO₂/kWh が 50%削減された場合の解析を実施した。この値は、火力発電の発電効率が 60%ま

で向上するとともに電源構成比が 40%まで低下した場合の原単位に相当する。

HP は近年普及が進んでいる家庭やオフィスでの熱供給システムである。HP の性能は COP (Coefficient Of Performance : 成績係数または動作係数) で表される。COP の定義は、「COP = 冷暖房能 (kW) ÷ 消費エネルギー (電力・熱 kW)」であり、従来型のガス給湯器の COP は約 0.8 程度、2050 年の HP 給湯器の COP 目標値は 6.3¹⁾である。本研究では 2008 年時点のトップランナー機種 (COP4.8) が一般家庭に普及しているものと想定し、その HP が消費する電力を代替する場合の解析を行った。代替する HP 給湯器の COP が 4.8 の場合、1MJ の熱量の供給に必要な電力量は 0.21 MJ (0.058 kWh) となる。

経済産業省による次世代自動車のロードマップ¹⁰⁾では、2030 年頃までに新車販売台数の 7 割に次世代自動車が増える見込みである。そこで、将来の次世代自動車として電気自動車を想定し、Li イオンバッテリーを搭載した電気自動車の 1 km 走行時の必要エネルギー 0.50 MJ/km を代替する場合の解析を行った。すなわち、バイオマス燃料により 1 km 走行した場合、代替する BEV で走行する際に必要なエネルギー 0.50 MJ (0.14 kWh) を削減可能とした。

表 5 に現状の代替物と将来の代替物を代替する時の GHG 削減効果を示した。将来の代替物の個別評価では HP、電気自動車の消費電力由来の CO₂削減は

表 5 現状と将来の代替物による GHG 削減効果

	現状		将来		単位
			個別評価	複合評価	
バイオガス	電力	0.425	電力 (低炭素化)	0.213	kg-CO ₂ /kWh
BDF、FT 油	軽油	0.133	電気自動車	0.060	kg-CO ₂ /km
ペレット、発電時廃	灯油	0.073	HP	0.025	kg-CO ₂ /MJ

※複合評価では電気自動車、HP の電力由来 GHG 削減を

低炭素化系統電力で計算

は HP、電気自動車の消費電力由来の CO₂削減は現状の系統電力での GHG 排出計数 0.425 kg-CO₂/kWh を用いて、また複合評価では系統電力の低炭素化時の係数 0.213 kg-CO₂/kWh を用いて計算した。個別評価では液体燃料の代替効果は 45%、ペレットや蒸気または GE 発電時の灯油代替効果は 34%にまで低下する。

2.6. 単位プロセスモデル

表6に各単位プロセスのパラメータを示し、単位プロセスについて以下に概説する。

表6 単位プロセスのパラメータ

プロセス名	データ区分	値	単位	プロセス名	データ区分	値	単位	プロセス名	データ区分	値	単位		
収集(4t車)	燃費	4.19	km/L	ペレット化	消費電力	309	kWh/t-ペレット	EtOH発酵 (木材)	消費電力	54	kWh/t-wet		
	輸送距離	50	km		加工ロス	0	%		粉砕	330	kWh/t-wet		
	搬出(10t車)	燃費	2.99		km/L	ペレット	含水率		15.0	%	発酵関連	243	kWh/t-wet
		輸送距離	施設-埋立地		50	km	低位発熱量		13,194	MJ/t-wet	糖化	C8糖化率	45.0
焼却	施設- ペレット使用地	50	km	熱分解 ガス化	消費電力	54	kWh/t-wet	糖化	C5糖化率	65.0	%		
	空気中酸素濃度	21.0	%		プラント	400	kWh/t-wet		発酵	C6発酵率	80.0	%	
	空気比	1.7			投入空気量	1,360	Nm ³ /t-dry		C5発酵率	70.0	%		
	完全燃焼率	98.9	%		酸素濃度	21.0	%		EtOH含水率	0.5	%		
	全灰中の焼却灰割合	90.0	%	GE発電	炭素ガス化率	95.0	%	発酵残渣含水率	54.8	%			
	全灰中の飛灰割合	10.0	%		燃料製造用ガス利用率	30.0	%		高気発電	発電効率	廃木材	15.0	%
	焼却灰含水率	20.0	%		熱分解残渣含水率	20.0	%		リグニン残渣	10.0	%		
	飛灰含水率	0.80	%		発電効率	30.0	%		熱利用率	15.0	%		
	CH ₄ 排出原単位	0.0084	kg-CH ₄ /t-ごみ	FT合成	熱利用率	30.0	%	液体燃料 使用	ガソリン車 燃費	ガソリン	14.4	km/L	
	N ₂ O排出原単位	0.060	kg-N ₂ O /t-ごみ		消費電力	圧縮	0.06		kWh/m ³ N	EtOH	9.5	km/L	
埋立	消費電力	6.38	kWh/t		CO転化率	60.0	%	ディーゼル車 燃費	軽油	19.7	km/L		
	軽油消費量	重機使用	0.76	L/t	選択率	85.0	%	FT軽油	19.2	km/L			
	通常埋立 (好気性)	炭酸ガス化比 率(埋立)	67.5	%	FT燃料含水率	3.0	%						
	分解ガス中 CH ₄ 比率	0	%	濃縮FT燃料含水率	0.5	%							
	N→N ₂ O 変換率	0	%	濃縮エネルギー	3.0	MJ/kg-wet							

収集プロセスは廃木材の排出事業所数およびその分布状況が不明であることから、輸送距離は50 km/往復と仮定した。処理残渣の搬出プロセスについても輸送距離は50 km/往復とした。積載能力は収集時4 t/台、搬出プロセスでは10 t/台とした。

焼却プロセスは京都市南部クリーンセンターのような処理能力150t/日以上的大型プラントを想定し、回収した蒸気を発電・熱利用することとした。回収エネルギーは投入物のLHVに効率を乗じて算出し、発電効率15%、熱利用率15%(プロセス内消費を除く系外供給可能割合)とした。焼却プロセスでの消費電力は、国立環境研究所「平成19年度バイオ資源・廃棄物等からの水素製造技術開発」¹⁰⁾で作成された、焼却対象ごみ質の変化が反映可能な以下の式を用いて算出した。

$$P=30.6+0.0026 \times \text{LHV}+0.015 \times G+28.3 \times \text{Ash} \quad \cdots (1)$$

P: 消費電力原単位 [kWh/t-wet] LHV: 廃木材の低位発熱量 [MJ/t-wet]

G: 実湿り排ガス量 [Nm³/t-wet] Ash: 廃木材中の灰分量 [t-wet/t-wet]

$$G=(C+1/2 H+S+1/2 N+H_2O) \times 22.4 \times 1000+0.21(m-1) \times A_0+0.79 \times m A_0 \quad \cdots (2)$$

$$L_0=(C+1/2 H+S-1/2 O) \times 22.4 \times 1000 \quad \cdots (3)$$

$$A_0=L_0 / 0.21 \quad \cdots (4)$$

L₀: 理論酸素量 [Nm³/t-wet]

A₀: 理論空気量 [Nm³/t-wet]

m: 空気比 [-]

C, H, S, N, H₂O: 各元素 mol 量 [×10⁶mol/t-wet]

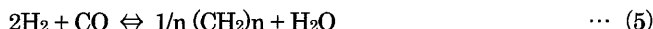
埋立プロセスは埋立物の炭酸ガス化率と分解ガス中CH₄比率、含有NのN₂O変換率を設定することでCH₄、N₂O排出量を計上した。

ペレット化プロセスは破碎、乾燥、成形、製品化の工程で構成される¹²⁾。ペレット化プロセスでの加工ロスは無いものとし、製品ペレットの含水率を15%とした。

熱分解ガス化プロセスは、京都市実証設備でのガス化炉炭素転換率、CO、H₂を含む精製ガス組成を用いて精製ガス量、性状を算出した。熱分解残渣は搬出し、埋立処分することとした。精製ガス中のCOとH₂はそれぞれ10%-dry前後である。FT合成シナリオでは精製ガスは一部消費電力を供給するためオフガスとともにGE発電利用し、残りの精製ガスを燃料製造用に使用した。

GE発電プロセスでは、精製ガスのLHVと発電効率から発電電力を算出し、発電効率は30%とした。また、系外へ供給可能な熱利用率は30%とし、電気、熱供給が可能なプロセスとした。

FT合成とは、 H_2 およびCOを主成分とするシンガスを原料とし、FeやCoなどの触媒を用いて200-350℃、2-5MPaで反応させることでガソリン留分や軽油留分などの混合油を製造する技術である。化学反応式は式(5)で示され、必要な H_2 量は反応COの2倍となる。FT合成プロセスでは、ガス圧縮時の消費電力、CO転化率と炭素数5以上の物質(軽油相当)選択率をパラメータとして設定した。精製ガス中COにCO転化率を乗じることで反応CO量、 H_2 量を求め、選択率を乗じてFT軽油製造量を求めた。国内外の技術開発状況のレビュー¹³⁻¹⁶⁾では、CO転化率は一般的に60-70%、基礎研究レベルでは90%をこえる事例¹⁸⁾もある。C5選択率は触媒や反応温度が影響するが概ね85%以上である。



EtOH発酵プロセスには破碎・粉砕の前処理も含み、希硫酸を用いて加水分解を行った後、糖化・発酵を経てEtOHを製造する。EtOH発酵の反応式は次式で表わされる。



消費電力は商用プラントからのヒアリング値を採用した。加水分解は希硫酸を用いるものとし、糖化率及び発酵率は国内実証成果をもとに設定した。既往研究¹⁷⁻¹⁹⁾ではヘミセルロースの分解によるC5糖回収率は65-90%、C6糖回収率は45-85%である。また、発酵収率はC5発酵収率は70-90%、C6発酵収率は80-90%である。糖化・発酵残渣は燃焼し、回収蒸気を発電・熱利用して不足分の電力を外部から購入することとした。なお、廃木材の糖化・発酵残渣は高熱量であるリグニンを含有するため約7,000 MJ/t-wetの熱量である。糖化・発酵残渣焼却の発電効率は10%、系外への熱利用率は15%とした。

3. 結果と考察

3.1. 現状ケース

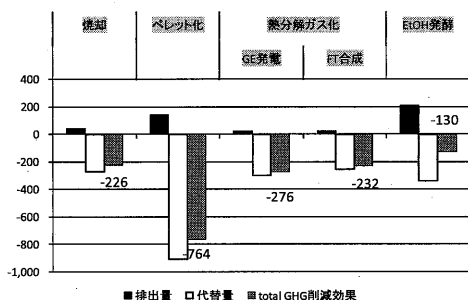


図1 現状ケースでのGHG削減効果と内訳
(単位: kg-CO₂/t-wet)

いずれのシナリオにおいてもGHG削減効果が期待できる結果となった。特にペレットの灯油代替効果が非常に大きく、ペレット化Sが最もGHG削減効果に優れたシナリオとなった。熱分解ガスの利用用途については、GE発電は焼却Sよりも22%高いGHG削減効果となり、FT合成は焼却Sとほぼ同程度の232 kg-CO₂/t-wetとなった。なお、本試算では自立型システムを想定しており、必要な電力は熱分解ガスとFT合成後のオフガスによるGE発電により供給している。そのため、熱分解ガスの47%が液体燃料利用可能なガス量であった。不足分は系統電力を購入する非自立型システムに変更し、ガス利用率を向上させた場

合には優劣が変化するものと予想される。これまでの研究²⁰⁾では、系統電力のGHG排出係数が小さい場合は非自立型が、排出係数が大きい場合は自立型がGHG排出削減の点では有利となった。EtOH発酵Sは他のシナリオに比べ製造時の消費電力由来のGHG排出が大きいいため、GHG削減効果は他シナリオと比べ小さい結果となったが、それでも130 kg-CO₂/t-wetのGHG削減が期待された。

3.2. 代替物の変化を考慮した将来ケース

図2に系統電力の低炭素化を考慮した解析結果を示した。熱利用であるペレット化Sは消費電力由来のGHG排出が半減することから、GHG削減効果は増加する。液体燃料利用であるEtOH発酵Sも同様の理由でGHG削減効果は212 kg-CO₂/t-wetまで増加し、FT合成Sは外部からの電力供給が不要なためGHG排出の変動はほとんどなかった。それに対し、焼却処理Sと発電利用であるGE発電Sでは、蒸気発電およびGE発電による代替効果が半減した結果、焼却Sでは70%、GE発電Sでは82%までGHG削減効果が低下した。その結果、系統電力の低炭素化が進んだ場合には液体燃料利用も発電利用と同程度のGHG削減

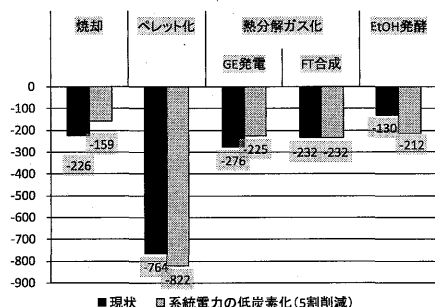


図2 現状と代替物が変化した将来の

GHG削減効果比較

(系統電力の低炭素化、単位: kg-CO₂/t-wet)

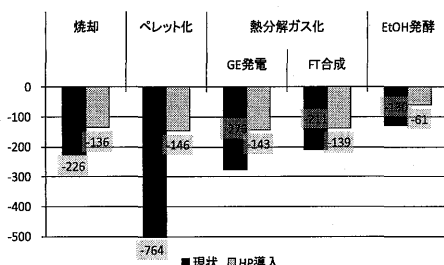


図3 現状と代替物が変化した将来の

GHG削減効果比較

(HPの導入、単位: kg-CO₂/t-wet)

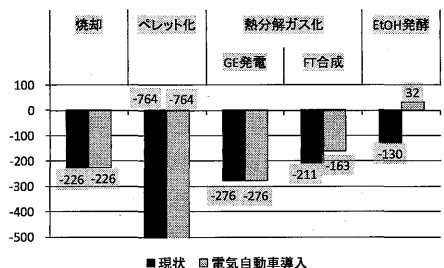


図4 現状と代替物が変化した将来の

GHG削減効果比較

(電気自動車の導入、単位: kg-CO₂/t-wet)

表7 利用技術の向上によるパラメータの変化

プロセス名	データ区分	現状	技術向上	単位
熱分解ガス化	消費電力	400	300	kWh/t-wet
FT合成	CO転化率	80.0	90.0	%
	選択率	85.0	95.0	%
EtOH発酵	消費電力	330	33	kWh/t-wet
	発酵関連	243	72	kWh/t-wet
	糖化	45.0	85.0	%
	C5糖化率	65.0	90.0	%
	C6発酵率	80.0	90.0	%
	C5発酵率	70.0	90.0	%

kL/年規模のプラント計画値による高い収率、省エネルギー化が達成されるものと仮定した。

まずは既存の代替物を代替することとし、図5にシナリオ毎の total GHG 削減効果とその内訳を示した。また、利用技術向上による収率の変化を表8に示した。分解ガス化プロセスの省エネルギー化により GE 発

効果が期待できることが示唆された。系統電力の低炭素化 (全電源平均 0.278kg-CO₂/kWh) の条件下での解析²⁰⁾では、FT 合成 S の自立型の GHG 削減効果が 112-170kg-CO₂/t-dry であったのに対して非自立型は 214-261kg-CO₂/t-dry であったことから、収率が向上する非自立型ではさらに GHG 削減効果が期待できるものと考えられる。

次に、HP の導入を考慮した解析結果を図3に示した。なお、HP の代替効果は灯油代替効果の 34%であることから、ペレット化 S の GHG 削減効果は 19%にまで低下した。他のシナリオについても蒸気発電、GE 発電時に合わせて廃熱利用していたことから、GHG 削減効果は 47-66%まで低下した。HP が普及した場合には熱利用は EtOH 発酵 S を除く他のシナリオと同程度の GHG 削減効果となる。

最後に、電気自動車の導入を考慮した解析結果を図4に示した。なお、液体燃料利用以外のシナリオは現状ケースと変わらない。FT 合成 S では、熱分解ガスの約半分を FT 合成に使用しているため、電気自動車代替の影響は EtOH 発酵 S と比べ小さい結果となった。一方、EtOH 発酵 S では代替効果の低下が大きく影響し、GHG を排出する結果となった。電気自動車が普及した場合には、液体燃料利用は焼却 S と比べても不利な利用方法となりうる可能性が示唆された。

3.3. バイオマス利用技術の向上を加味した総合評価

低炭素化社会が進むことで代替物が変化することを考慮した解析を前項までで実施したが、バイオマスの利用技術についても 2030 年頃には改善されていることが予想される。特に熱分解ガス化や FT 合成は基礎研究段階、EtOH 発酵についても実証段階の技術であることから、収率の向上と省エネルギー化が予想される。

そこで、表7に示したパラメータを用いて、バイオマス利用技術の向上を考慮した解析を実施した。2030 年頃に熱分解ガス化プラントが実用化した場合、京都市の廃木材利用量を処理するには大型プラント (180 t/日×300 日/年スケール) となるためプラント消費電力の低減が期待される。そこで、現状の実証プラントの消費電力 400 kWh/t-wet が 300 kWh/t-wet に低下すると仮定した。また、FT 合成の CO 転化率、選択率は基礎研究での高い実績値での収率向上を想定した¹³⁻¹⁶⁾。EtOH 発酵についてはアルコール協会ら¹⁷⁾の 5 万

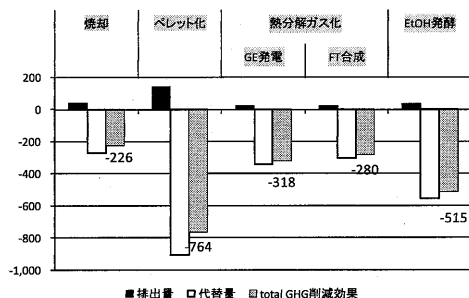


図5 現状と利用技術向上時の

GHG 削減効果比較 (単位: $\text{kg-CO}_2/\text{t-wet}$)

表8 技術向上による収率の変化 (1 t-wet 当たり)

シナリオ	製品	現状ケース	技術向上	単位
焼却S	電力	315.6	-	kWh
ペレットS	ペレット	882.4	-	kg-wet
GE発電S	電力	242.0	342.0	kWh
FT合成S	FT油	34.4	57.4	kg-wet
EtOH発酵S	EtOH	134.2	263.8	L

を排出する結果となった。熱利用と発電利用が同程度の削減効果となり、液体燃料利用がやや不利なことが明らかとなった。次いで、バイオマス利用技術の向上まで加味した総合評価では EtOH 発酵 S においても GHG 削減効果が期待された。GE 発電 S が最も有利なシナリオとなり、次いでペレット化、EtOH 発酵、焼却、FT 合成となった。

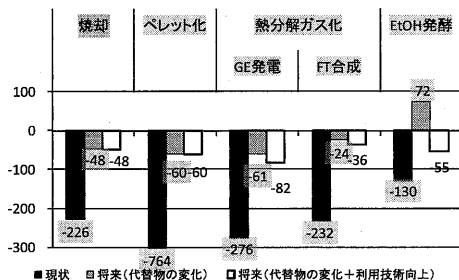


図6 現状と複合評価、総合評価の比較

(単位: $\text{kg-CO}_2/\text{t-wet}$)

※複合評価: 代替物の変化 (低炭素化系統電力、HP、電気自動車の導入) を反映

※総合評価: 複合評価に加えて利用技術向上を加味

バイオ燃料やバイオマスエネルギーと新エネ・省エネ技術は必ずしも競合するものではなく、将来の低炭素社会での重要な役割を共に担うものであると考えられるからである。

以上のような不確実性について、地域の実態や将来目標に即した詳細な前提条件・シナリオの設定を行い、解析を加える必要がある。

4. 結論

本研究では現状および 2030 年頃を想定した将来について、バイオマス原料毎に代替物の変化を考慮したライフサイクル解析を実施した。将来については、低炭素化の進んだ系統電力 (現状より 5 割削減)、ヒートポンプ、電気自動車を代替するとして解析した結果、以下のことが明らかとなった。

電 S では total GHG 削減効果が 15%、FT 合成 S では 20%増加した。なお、FT 合成 S では収率の向上も寄与しているが、設定値の CO 転化率 90%に対し、 H_2 、CO ガスの制約条件により実質的な CO 転嫁率は 75%となり、収率は 1.7 倍となった。熱分解ガス化の省エネルギー化により熱分解ガスの FT 合成利用率は 55%まで向上した。また、EtOH 発酵 S は収率が 2.0 倍になったこと、さらに省エネルギー化が進んだことで 4.0 倍の total GHG 削減効果となり、GE 発電 S より優れた結果となった。液体燃料利用は利用技術の向上が結果に大きく影響した。

続いて、図 6 に現状ケース、系統電力の低炭素等 3 つの代替物の将来変化を考慮した複合評価ケース、さらに利用技術の向上まで考慮した総合評価の比較を示した。

代替物の複合評価では、8-22% (24-61 $\text{kg-CO}_2/\text{t-wet}$) にまで GHG 削減効果が大きく低下し、EtOH 発酵 S では GHG

3.4. 本解析の不確実性について

本研究では、FT 合成は必要電力を自身で供給 (熱分解ガス化ガスの GE 発電) する自立型を想定した。外部電力を購入し、収率を向上させた非自立型条件では結果が異なる可能性があり、GHG 排出係数が小さい場合は非自立型が有利であることが報告 10) されている。

また、焼却処理の蒸気発電、GE 発電では熱利用による GHG 削減効果を含めて解析を実施したが地域によっては十分に熱利用できないケースも考えられる。特に、ペレット化 S は他の利用方法と比較して GHG 削減効果が相当に優位であったが、地域の賦存量を全量ペレット利用することは難しく、需要を考慮した条件設定が必要である。

さらに、2030 年頃の代替物として本研究では HP、電気

- ・ 現状技術での解析結果では、ペレット化シナリオ、GE 発電シナリオが優位な利用シナリオとなり、FT 合成や EtOH 発酵のような液体燃料シナリオは焼却処理と同程度かやや不利な結果となった。ただし、液体燃料利用も利用技術の向上により GHG 削減効果が増加し、焼却処理より優位となった。
- ・ 将来的に代替物が新規技術に変化することを考慮すると、全シナリオにおいて GHG 削減効果が低下する結果となった。系統電力の低炭素化、HP、電気自動車の導入の 3 つの代替物の変化を考慮した複合評価では、8-22% (24-61 kg-CO₂/t-wet) にまで GHG 削減効果が大きく低下した。
- ・ 本解析の設定条件の下で代替物の複合評価に加えバイオマスの利用技術の向上まで加味した総合評価では、発電利用が最も優位となり、次いで熱利用、液体燃料利用となったが、いずれのシナリオにおいても GHG 削減効果 (36-82 kg-CO₂/t-wet) が期待できた。

謝辞 本実証事業は環境省「地球温暖化対策技術開発事業」(平成 19 年度～)により実施されたものであり、関係者に謝意を表します。

参考文献

- 1) 「2050 日本低炭素社会」シナリオチーム、他 (2008) : 低炭素社会に向けた 12 の方策
- 2) 経済産業省 (2008) : Cool Earth エネルギー革新技術計画
- 3) K. McCormick, et al (2005) : Exploring a pioneering bioenergy system: The case of Enköping in Sweden, Cleaner Production, Vol.13, pp.1003-1014
- 4) Commission of the European communities (2008) : Proposal for a Directive of the European parliament and of the council on the promotion of the use of energy from renewable sources, COM(2008) 19 final, 2008/0016/(COM)
- 5) M. Baitz, et al (2004) : Executive Summary: Comparative Life-Cycle Assessment for SunDiesel (Choren Process) and Conventional Diesel Fuel. PE Europe GmbH
- 6) 環境省 (2006) : 地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条 排出係数一覧表
- 7) 電気事業連合会 (2007) : 電力の LCI データの概要
- 8) 総合資源エネルギー調査会 (2008) : 長期エネルギー需給見通し
- 9) 資源エネルギー庁・低炭素電力供給システムに関する研究会 (2008) : 第 1 回配布資料「低炭素電力供給システムの構築に向けて」
- 10) 経済産業省 (2007) : 「次世代自動車・燃料イニシアティブ」について
- 11) 国立環境研究所 (2006-2007) : バイオ資源・廃棄物等からの水素製造技術開発
- 12) 愛媛県内子町 (2007) : 内子町バイオマスペレット事業化可能性調査報告書
- 13) 村田和久 (2006) : BTL 技術の進展と FT 触媒の役割、第 40 回バイオマス利用研究会、高度技術研究所
- 14) 鈴木信市 (2001) : 未開発ガス田を市場に導く石油公団 GTL 技術開発、石油/天然ガスレビュー、pp.10-30
- 16) 若村修 (2005) : GTL 技術開発、新日鉄技報、No.382, pp2-7
- 17) アルコール協会、他 (2006) : バイオマスエネルギー高効率転換技術開発 セルロース系バイオマスを原料とする新規なエタノール発酵技術等により燃料用エタノールを製造する技術の開発
- 18) 鈴木健治、他 (2004) : 廃建材を用いた燃料用エタノール製造技術の開発、第 15 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.710-712
- 19) 三井造船株式会社 : 木質系バイオマスを主原料とするエタノール製造技術実証試験事業 (2005-2006)
- 20) 矢野順也、他 (2008) : 廃木材利用システムのシナリオ比較、第 19 回廃棄物学会研究発表会講演論文集、pp.417-419

キーワード : バイオマス、廃木材、熱分解ガス化、エタノール発酵、温室効果ガス

Key Words : Biomass, Waste Wood, Pyrolytic gasification, Ethanol Fermentation, Greenhouse Gas